XV SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - SENDI 2002

PADO – Programa de Análise e Diagnóstico de Óleo Isolante

M.R.Tassi – CPFL Piratininga, V.Vasconcellos – CPFL Piratininga

E mail: *marcostassi@piratininga.net*

Palavras Chaves: Óleo Isolante, Sistema Informatizado, Banco de Dados, Transformadores e Comutadores sob carga.

Resumo

Devido ao grande volume de dados decorrentes dos resultados de ensaio de óleo isolante efetuados ao longo dos anos, se fez necessário o desenvolvimento de um banco de dados para o armazenamento dos mesmos.

Paralelamente ao desenvolvimento do banco de dados, tivemos a idéia de elaborar um sistema que executasse a análise desses dados e os resultados obtidos servissem de apoio às atividades de manutenção.

Por essa razão, após finalizarmos o desenvolvimento do banco de dados iniciou-se o desenvolvimento do software e dos algoritmos para tratamento dos mesmos.

Os algoritmos foram desenvolvidos com base nas normas brasileiras vigentes para acompanhamento de óleo mineral isolante.

Com a implantação do Sistema PADO houve uma otimização das atividades de manutenção de transformadores já que além de armazenar informações referentes a óleo isolante também armazena informações técnicas dos transformadores e comutadores sob carga.

1. INTRODUÇÃO

A CPFL Piratininga conta atualmente com 94 transformadores de potência e 82 comutadores sob carga instalados em suas subestações.

De acordo com os critérios de manutenção adotados para acompanhamento das condições do óleo isolante, realizamos ensaios de cromatografia gasosa semestralmente, e físico químico anualmente para transformadores e comutadores sob carga.

Por conta disso, há um grande volume de informações já que esse acompanhamento é feito desde a energização do transformador e só se encerra quando o transformador é retirado de operação por alguma razão.

Anteriormente a utilização do PADO, esses dados eram anotados em fichas individuais de controle, sendo uma para cromatografia e outra para físico químico.

Com a utilização do PADO houve a automação das informações de ensaio de óleo isolante e com isso foi possível gerenciar de maneira mais eficiente à operação e manutenção dos transformadores e comutadores.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema PADO é composto basicamente por duas partes, um banco de dados onde foram inseridos os resultados de ensaio e os algoritmos que são responsáveis pelo tratamento dos dados e fornecimento de diagnósticos.

O sistema armazena resultados de ensaio de óleo e informações técnicas de transformadores de potência e comutadores, e através dessas informações gerenciamos as condições de operação e manutenção dos equipamentos envolvidos.

A partir de agora descreveremos de maneira mais detalhada as funcionalidades do sistema PADO as vantagens obtidas com a implantação do mesmo na CPFL Piratininga.

3. ÓLEO ISOLANTE

O gerenciamento das condições do óleo isolante foi o motivo principal para o desenvolvimento desse sistema, visto que anteriormente ao sistema, as informações não ficavam armazenadas de maneira adequada ocasionando algumas vezes até a perda de alguns resultados.

Por essa razão foi desenvolvido inicialmente um banco de dados, onde foram cadastrados todos os resultados de ensaio de óleo realizado ao longo da vida útil do transformador.

Para o gerenciamento do óleo isolante dos transformadores foram cadastrados no banco de dados resultados de ensaio de cromatografia gasosa, e físico químico de transformadores de potência e comutadores sob carga.

A seguir detalharemos o que cada ensaio representa ao transformador e como seus resultados são armazenados e analisados no programa.

3.1 Cromatografia Gasosa

Os equipamentos elétricos com isolamento a óleo possuem em sua constituição um conjunto de materiais, dentre os quais citamos os dielétricos, que são em sua maioria compostos orgânicos.

Estes materiais quando submetidos à ação de defeitos e/ou falhas (térmicas, elétricas ou mecânicas), se decompõem formando gases, combustíveis ou não.

Os gases formados são totalmente ou parcialmente dissolvidos no óleo, diluídos e transportados a todos os pontos por ele atingidos.

Por exemplo, a ocorrência de um arco elétrico no óleo isolante dá origem a grandes quantidades de hidrogênio (H2) e acetileno (C2H2), com pequenas quantidades de metano (CH4) e etileno (C2H4).

Descargas elétricas de baixa energia produzem hidrogênio e metano, com pequenas quantidades de etano (C2H6) e etileno (C2H4).

Caso a falha atinja a celulose, em ambos os casos também haverá a formação de monóxido e dióxido de carbono (CO e CO2).

A análise desses gases permite identificar a ocorrência de defeitos e/ou falhas associadas aos materiais dielétricos envolvidos, ou seja, permite determinar a condição de operação dos equipamentos bem como monitora-los ainda em estágio de aceitação tanto na fábrica (durante o ensaio de aquecimento), quanto em campo (durante e após o período de garantia).

Devido a importância dessas informações, foi desenvolvido o banco de dados visando o armazenamento dessas informações ao longo da vida útil do equipamento, já que para esse tipo de ensaio o que conta é a evolução do gás e não simplesmente seu valor em ppm.

3.2 Ensaios Físico Químicos

Através dos ensaios físico-químicos podemos determinar o grau de oxidação do óleo isolante de transformadores e comutadores sob carga.

Um ensaio físico químico completo, utilizado para transformadores é composto pelos seguintes ensaios:

- Cor (ABNT MB 351);
- Acidez (ABNT MB 101);
- Fator de Dissipação (NBR 12133);
- Tensão Interfacial a 25º C (NBR 6234);
- Teor de Água (NBR 10710);
- Rigidez Dielétrica (NBR 10859);
- Densidade 20/4 º C (NBR 7148)

Para comutadores sob carga fazemos ensaios de Teor de Água (NBR 10710) e Rigidez Dielétrica (NBR 10859).

Existem valores limite para os ensaios físico químicos realizados em transformadores e comutadores sob carga e através desses valores é que se determinam as ações que devem ser tomadas para restabelecimento das condições de utilização do óleo isolante.

Existem dois processos para a revitalização do óleo isolante, o tratamento a termovácuo e a regeneração.

O primeiro se aplica quando os valores de teor de água e rigidez dielétrica estão fora dos limites especificados por norma.

O tratamento consiste na secagem de retirada de gases do óleo isolante através de aquecimento e secagem a vácuo.

Para os demais parâmetros utiliza-se o processo de regeneração que através de colunas percoladoras restabelece as condições de utilização de óleo.

4. CROMATOGRAFIA NO SISTEMA PADO

4.1 Cadastro de Amostras

No banco de dados de cromatografia do PADO são cadastrados os valores de todos os gases analisados numa cromatografia gasosa, além de dados do transformador e óleo isolante.

Para fazer a inclusão de uma amostra no banco de dados selecionamos o transformador através de seus dados técnicos ou através da subestação onde o mesmo se encontra.

O programa emite alerta através de mudança de cores a medida que se faz a inclusão dos valores de ensaio.

Com isso, enquanto se esta fazendo o cadastro, já é possível se ter uma primeira informação, e se o valor de ensaio está fora dos valores de referência ou teve elevação de seus valores.

Outra particularidade do sistema é a identificação do local onde foi coletada a amostra, registro superior, inferior ou relê de gás.

Com essa informação é possível identificar e cadastrar amostras que foram solicitadas em ocorrências envolvendo atuação de relê de gás, já que nesses casos, saber o local exato da amostragem é de fundamental importância.

4.2 Consulta das Amostras

Depois de efetuado o cadastramento, o programa permite consultas de uma determinada amostra ou histórico de um transformador.

No caso dos ensaios de cromatografia gasosa, a consulta do histórico é muito importante, já que através do mesma fazemos os devidos diagnósticos.

As consultas podem ser feitas diretamente na tela do computador ou através de relatórios que podem ser impressos.

4.3 Diagnóstico do Transformador

Com base nas amostras cadastradas é feito o diagnóstico da cromatografia de acordo com a norma NBR 7274 – Interpretação da análise dos gases de transformadores em serviço. Na tela onde se cadastram as amostras há um botão de atalho para acessar a tela de diagnósticos.

O diagnóstico é realizado com as duas últimas amostras cadastradas no banco de dados e fornece as seguintes informações:

- Valores de referência para cada gás em ppm;
- Ensaio anterior;
- Ensaio atual;
- Taxa de variação mensal em %
- Teor de Concentração dos gases;
- Visualização gráfica dos gases combustíveis;

Além disso, na tela de diagnóstico ainda temos a possibilidade de comparar os gráficos obtidos através da análise das amostras com gráficos padrões da norma NBR-7274.

O programa também calcula as 3 relações de gases contidas na norma que são:

- C_2H_2 / C_2H_4
- CH_4 / H_2
- C_2H_4 / C_2H_6

Com base nas informações obtidas dos cálculos das relações são emitidos alertas da situação encontrada no referido diagnóstico.

Essas informações são muito importantes à Engenharia de Manutenção que pode fazer um diagnóstico mais detalhado da situação encontrada.

4.4 Visualização gráfica da evolução dos gases

Outro recurso importante do programa é a possibilidade da visualização gráfica da evolução dos gases. Temos a opção de visualizar cada gás em particular ou o conjunto de todos os gases.

O gráfico é plotado de acordo com as informações contidas no histórico. Essa visualização gráfica é uma importante ferramenta de análise já que é possível identificar quando a evolução se iniciou e suas conseqüências ao transformador.

4.5 Gráficos Comparativos da Norma NBR-7274

Na referida norma existem gráficos comparativos em valores percentuais para determinados gases que identificam o diagnóstico do equipamento.

O programa calcula os percentuais da última amostra e traça um gráfico de barra em valores percentuais. Através de seleção por meio de botões o usuário tem a possibilidade de comparar os gráficos traçados a partir da amostra com os contidos na norma.

Essa ferramenta do programa auxilia a Engenharia de Manutenção no diagnóstico de possíveis defeitos podendo até evitar possíveis falhas em alguns casos.

5. ENSAIOS FÍSICO QUÍMICOS NO SISTEMA PADO

O programa permite cadastrar todos dados obtidos de um ensaio físico químico completo de um transformador.

Diferentemente da cromatografia gasosa, os ensaios físico químicos tem valores limite para cada variável. Esses valores limite variam de acordo com a classe de tensão que opera o transformador.

Dentro do programa há a possibilidade de se alterar esses valores limite de acordo com a necessidade de adequação para cada equipamento.

Na CPFL Piratininga adotamos os seguintes valores limite para transformadores e comutadores sob carga.

Tabela I

Valores Limite para ensaios físico químicos em transformadores de potência.

Ensaio	**Valor limite**
Cor	-
Acidez	Max. 0,30 mg/KOH
Fator Dissipação 90° C	Max. 15%
Tensão Interfacial 25ºC	Min 20 mN/m
Teor de Água	Max. 35 ppm
Rigidez Dielétrica	Min. 50 kV/2,5 mm
Densidade a 20/4 º C	-

Para os comutadores sob carga é realizado o ensaio físico químico simples que contem somente os parâmetros de teor de água e rigidez dielétrica.

Tabela II

Valores Limite para ensaios físico químicos em comutadores sob carga.

Ensaio	**Valor limite**
Teor de Água	Máx. 30 ppm
Rigidez Dielétrica	Min. 40 kV

O programa informa quais comutadores sob carga estão com valores limite fora do especificado para que seja programada a substituição do óleo isolante.

Assim como na cromatografia, podemos traçar gráficos dos parâmetros de ensaio. Os gráficos são plotados de acordo com os valores contidos no banco de dados que formam o histórico do transformador.

5.1 Projeção de valores de acordo com o histórico

Dentro do programa foram introduzidos algoritmos desenvolvidos a partir de ferramentas estatísticas que fazem projeções sobre os valores limite.

Trata-se de uma ferramenta de auxílio e está sendo utilizada como referência dentro do programa. Porém, os

ensaios continuam sendo realizados dentro da periodicidade adotada pela empresa.

6. RELATÓRIOS DE CONTROLE DO SISTEMA PADO

No Sistema PADO há a possibilidade de emissão de vários relatórios de controle de equipamentos e suas condições de operação.

No Sistema PADO há a possibilidade de emissão de relatórios de cada amostra, ou do histórico de amostragens realizadas no transformador.

Outro relatório possível de se obter do Sistema PADO são aqueles selecionados por valores limite. Por exemplo, listar todos os transformadores que necessitam de tratamento a termovácuo, regeneração, etc.

Quando uma amostra de ensaio físico químico é cadastrada, automaticamente o programa compara os valores inseridos com os valores limite.

Caso os valores inseridos estejam fora dos valores limite, automaticamente será emitido o diagnóstico no laudo e esse equipamento já será selecionado para possíveis relatórios solicitados por parâmetros.

7. CADASTRO DE INFORMAÇÕES TÉCNICAS NO SISTEMA PADO

Outra característica do Sistema PADO é o cadastro de informações técnicas de transformadores e comutadores sob carga.

7.1 Cadastro de Transformadores no Sistema PADO

Além de gerenciamento das condições do óleo isolante do transformador, o programa também armazena as informações técnicas dos transformadores.

Essas informações são de grande valia para a Engenharia de Manutenção, visto que o armazenamento dos dados no programa facilita a consulta e otimiza as atividades de manutenção.

Dentro do programa podemos consultar os transformadores de várias maneiras como pela subestação onde se encontram instalados, fabricante, modelo, etc.

Outra ferramenta muito importante do programa é a possibilidade de classificarmos os transformadores por tipo, fabricante, idade, modelo, etc.

Essa ferramenta é muito importante, pois quando detectamos alguma anomalia em algum transformador , podemos selecionar todos da mesma família para estabelecermos comparações.

7.2 Gerenciamento dos Transformadores da Reserva Técnica

O programa também é utilizado para gerenciamento da reserva técnica de transformadores de potência da CPFL Piratininga.

Através do programa controlamos a movimentação dos transformadores da reserva técnica e suas condições de operação. Através do programa consultamos os últimos resultados de ensaio físico químicos realizados, sua localização, particularidades do equipamento, etc.

O programa permite também controlar a movimentação de todos os transformadores e não somente os da reserva técnica.

Com essa ação não há o risco de se perder o histórico dos equipamentos ainda que ocorram mudanças de locais de instalação.

7.3 Comutadores sob Carga

Além dos transformadores o programa também armazena as informações técnicas dos comutadores sob carga.

Esse controle é de fundamental importância já que a controle rigoroso desses equipamentos contribui decisivamente para a operação confiável dos transformadores.

Dentro do cadastro de comutadores sob carga há a possibilidade de consulta por todos os campos do banco de dados.

Isso faz com que tenhamos um total controle das condições de operação, características técnicas, relê de tensão utilizado, n° de operações, etc.

Assim como nos transformadores é possível também classificar os comutadores por tipo, modelo, fabricante, etc.

Essa possibilidade de classificação é uma ferramenta poderosa à Engenharia de Manutenção que a utiliza para determinar possíveis falhas nesses equipamentos.

Com as informações de manutenção cadastradas no programa temos condições de estabelecer análises a respeito do funcionamento, peças que mais foram substituídas, etc.

8. CADASTRO DAS SUBESTAÇÕES NO SISTEMA PADO

Além dos equipamentos a própria subestação também é cadastrada no sistema.

O cadastro tem a finalidade de facilitar a consulta sobre particularidades de cada uma delas e auxiliar nas atividades de manutenção.

São cadastrados no PADO dados como endereço, potência instalada, quantidade de transformadores, área total, etc.

Além disso, o programa mostra o mapa para chegada no local tendo como referência inicial o departamento de serviço de campo responsável pela manutenção da mesma.

O cadastro de subestações também é utilizado para armazenar particularidades do local e que podem ajudar em eventuais ocorrências de grande vulto, por exemplo, no caso de queima de transformadores.

9. CONCLUSÃO

Na CPFL Piratininga a utilização do Sistema PADO trouxe muitos benefícios.

Dentre os principais podemos destacar a automação das informações, facilidade de consulta e concentração das informações.

Com a utilização do programa tornou-se muito mais simples a consulta do histórico dos transformadores e comutadores.

Com a disponibilização dessas informações fica fácil estabelecer diagnósticos para previsões de operação e manutenção dos mesmos.

Atualmente na CPFL Piratininga todo o controle dos transformadores e comutadores sob carga é feito através do sistema.

Com a utilização do programa não houve mais necessidade de se arquivar fichas papel, reduzindo arquivos e trabalho de atualização das mesmas.

Por questões de segurança, cada vez que o banco de dados é atualizado fazemos um backup das informações do banco. Com isso não corremos o risco de perder informações ou o histórico dos transformadores.

Outra contribuição importante do sistema à Engenharia de Manutenção é o armazenamento das informações dos transformadores da reserva técnica.

Com o cadastramento dos transformadores da reserva técnica no sistema a consulta ficou mais rápida e eficiente. As informações cadastradas facilitam no caso de uma eventual substituição pois de imediato sabemos onde o mesmo pode ser utilizado, restrições de transporte, etc.

Baseado na experiência do Sistema PADO estamos desenvolvendo um sistema similar para cadastro e gerenciamento de disjuntores de alta e média tensão.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] NBR 12133 – Líquidos Isolantes Elétricos – Determinação do fator de perdas e da permissividade relativa. (Constante Dielétrica).

[2] NBR 6234 – Óleo – Água – Determinação da tensão interfacial;

[3] NBR 10710 – Líquidos Isolantes Elétricos – Determinação do teor de H_2O.

[4] NBR 10859 – Líquidos Isolantes Elétricos – Determinação do teor de rigidez dielétrica. (Eletrodos de disco ou calota).

[5] NBR 7148 – Petróleo e produtos de petróleo – Determinação da massa específica, densidade relativa e API – Método do Densímetro.

[6] NBR 7274 – Interpretação da análise dos gases de transformadores em serviço.

[7] Milasch. M: “Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante”;

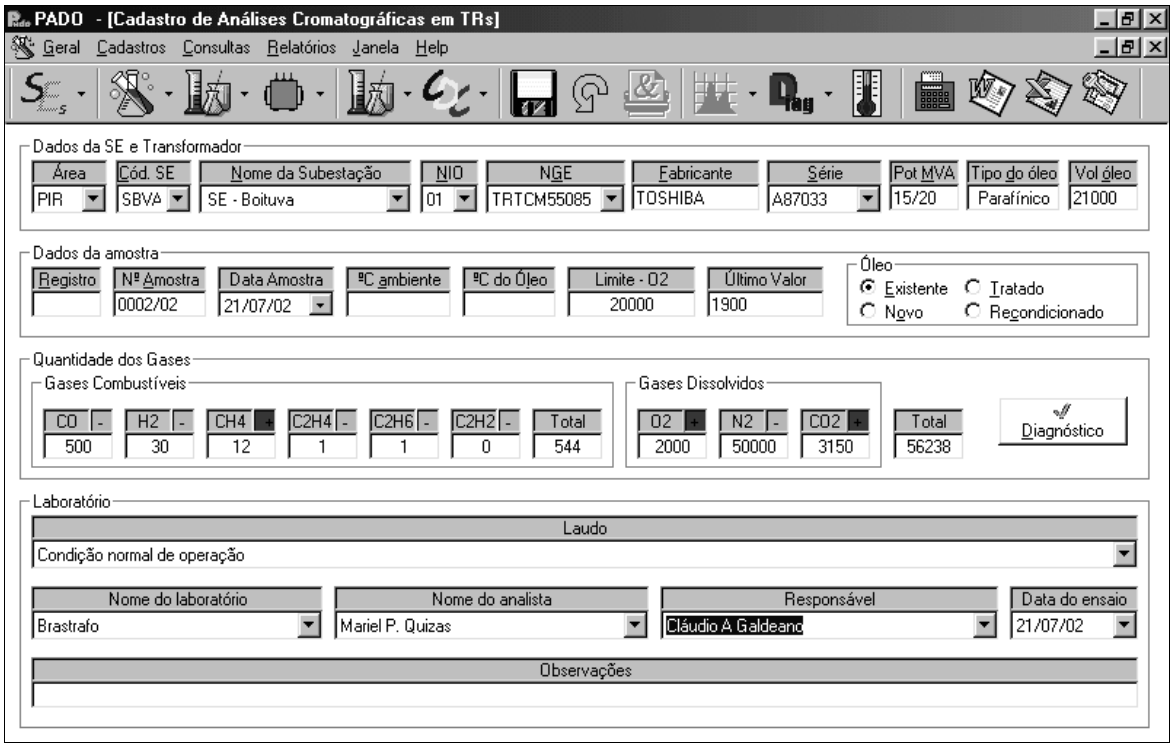

PADO - [Cadastro de Análises Cromatográficas em TRs]
Geral Cadastros Consultas Relatórios Janela Help
Dados da SE e Transformador
Área Cód. SE Nome da Subestação NIO NGE Fabricante Série Pot MVA Tipo do óleo Vol óleo
PIR SBVA SE - Boituva 01 TRTCM55085 TOSHIBA A87033 15/20 Parafínico 21000
Dados da amostra
Registro Nº Amostra Data Amostra ºC ambiente ºC do Óleo Limite - O2 Último Valor
0002/02 21/07/02 20000 1900
Óleo
Existente Tratado
Novo Recondicionado
Quantidade dos Gases
Gases Combustíveis
CO H2 CH4 C2H4 C2H6 C2H2 Total
500 30 12 1 1 0 544
Gases Dissolvidos
O2 N2 CO2 Total
2000 50000 3150 56238
Diagnóstico
Laboratório
Laudo
Condição normal de operação
Nome do laboratório Nome do analista Responsável Data do ensaio
Brastrafo Mariel P. Quizas Cláudio A Galdeano 21/07/02
Observações

Figura 1 – Tela de Cadastro Cromatografia

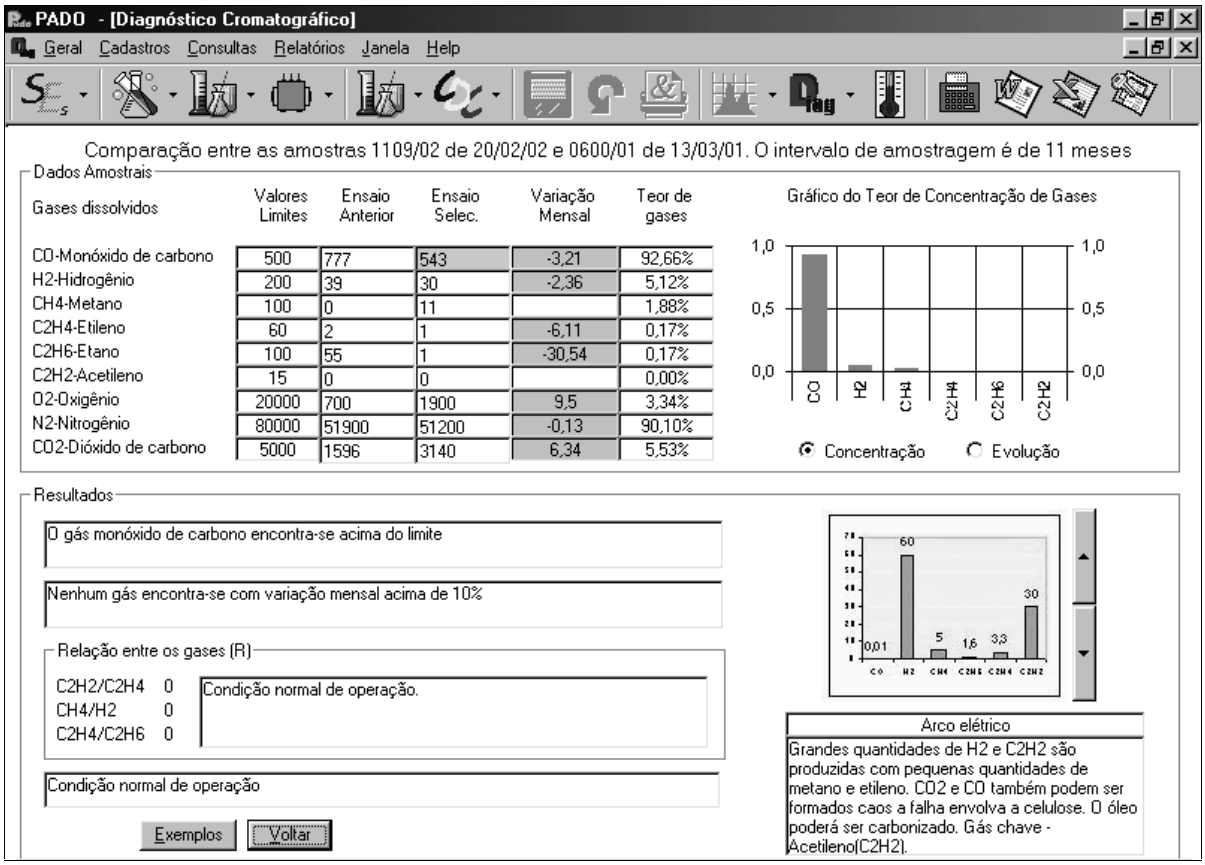
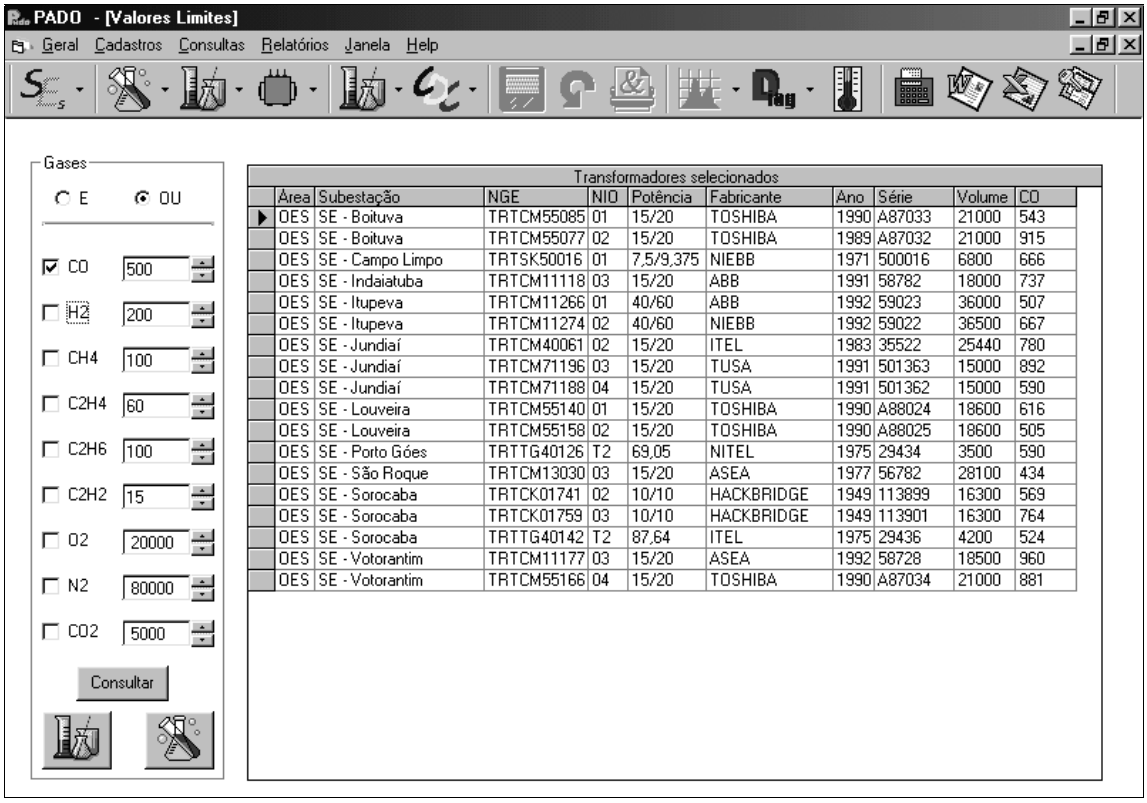

PADO - [Diagnóstico Cromatográfico]
Geral Cadastros Consultas Relatórios Janela Help
Comparação entre as amostras 1109/02 de 20/02/02 e 0600/01 de 13/03/01. O intervalo de amostragem é de 11 meses
Dados Amostrais
Gases dissolvidos | Valores Limites | Ensaio Anterior | Ensaio Selec. | Variação Mensal | Teor de gases
CO-Monóxido de carbono | 500 | 777 | 543 | -3,21 | 92,66%
H2-Hidrogênio | 200 | 39 | 30 | -2,36 | 5,12%
CH4-Metano | 100 | 0 | 11 | | 1,88%
C2H4-Etileno | 60 | 2 | 1 | -6,11 | 0,17%
C2H6-Etano | 100 | 55 | 1 | -30,54 | 0,17%
C2H2-Acetileno | 15 | 0 | 0 | | 0,00%
O2-Oxigênio | 20000 | 700 | 1900 | 9,5 | 3,34%
N2-Nitrogênio | 80000 | 51900 | 51200 | -0,13 | 90,10%
CO2-Dióxido de carbono | 5000 | 1596 | 3140 | 6,34 | 5,53%
Gráfico do Teor de Concentração de Gases
1,0
0,5
0,0
CO H2 CH4 C2H4 C2H6 C2H2
Concentração Evolução
Resultados
O gás monóxido de carbono encontra-se acima do limite
Nenhum gás encontra-se com variação mensal acima de 10%
Relação entre os gases (R)
C2H2/C2H4 0
CH4/H2 0
C2H4/C2H6 0
Condição normal de operação.
Condição normal de operação
Exemplos Voltar
60 0,01 5 1,6 3,3 30
Arco elétrico
Grandes quantidades de H2 e C2H2 são produzidas com pequenas quantidades de metano e etileno. CO2 e CO também podem ser formados caos a falha envolva a celulose. O óleo poderá ser carbonizado. Gás chave - Acetileno(C2H2).

Figura 2 – Tela Diagnóstico Cromatografia



Área	Subestação	NGE	NIO	Potência	Fabricante	Ano	Série	Volume	CO
OES	SE - Boituva	TRTCM55085	01	15/20	TOSHIBA	1990	A87033	21000	543
OES	SE - Boituva	TRTCM55077	02	15/20	TOSHIBA	1989	A87032	21000	915
OES	SE - Campo Limpo	TRTSK50016	01	7,5/9,375	NIEBB	1971	500016	6800	666
OES	SE - Indaiatuba	TRTCM11118	03	15/20	ABB	1991	58782	18000	737
OES	SE - Itupeva	TRTCM11266	01	40/60	ABB	1992	59023	36000	507
OES	SE - Itupeva	TRTCM11274	02	40/60	NIEBB	1992	59022	36500	667
OES	SE - Jundiaí	TRTCM40061	02	15/20	ITEL	1983	35522	25440	780
OES	SE - Jundiaí	TRTCM71196	03	15/20	TUSA	1991	501363	15000	892
OES	SE - Jundiaí	TRTCM71188	04	15/20	TUSA	1991	501362	15000	590
OES	SE - Louveira	TRTCM55140	01	15/20	TOSHIBA	1990	A88024	18600	616
OES	SE - Louveira	TRTCM55158	02	15/20	TOSHIBA	1990	A88025	18600	505
OES	SE - Porto Góes	TRTTG40126	T2	69,05	NITEL	1975	29434	3500	590
OES	SE - São Roque	TRTCM13030	03	15/20	ASEA	1977	56782	28100	434
OES	SE - Sorocaba	TRTCK01741	02	10/10	HACKBRIDGE	1949	113899	16300	569
OES	SE - Sorocaba	TRTCK01759	03	10/10	HACKBRIDGE	1949	113901	16300	764
OES	SE - Sorocaba	TRTTG40142	T2	87,64	ITEL	1975	29436	4200	524
OES	SE - Votorantim	TRTCM11177	03	15/20	ASEA	1992	58728	18500	960
OES	SE - Votorantim	TRTCM55166	04	15/20	TOSHIBA	1990	A87034	21000	881

Figura 3 – Seleção por Valores de Referência - Cromatografia

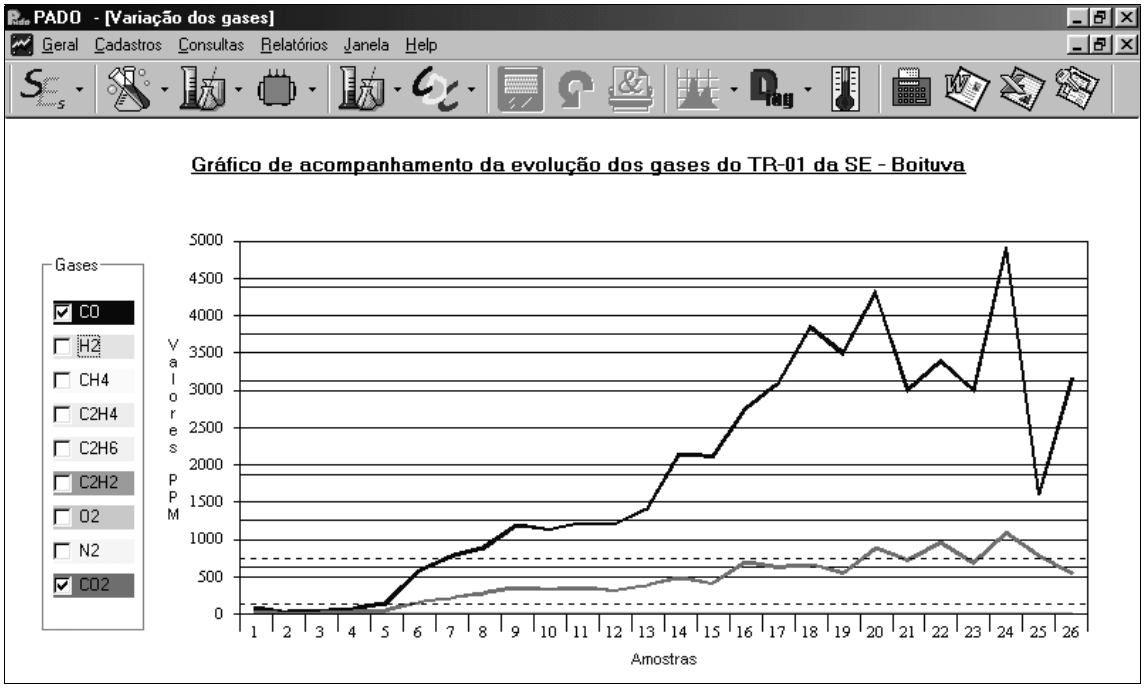


Figura 4 – Gráfico Variação dos Gases